

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-261175

(43)Date of publication of application : 03.10.1997

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/18

(21)Application number : 08-183794

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 12.07.1996

(72)Inventor : KAWAI TAKESHI
OBARA HITOSHI

(30)Priority

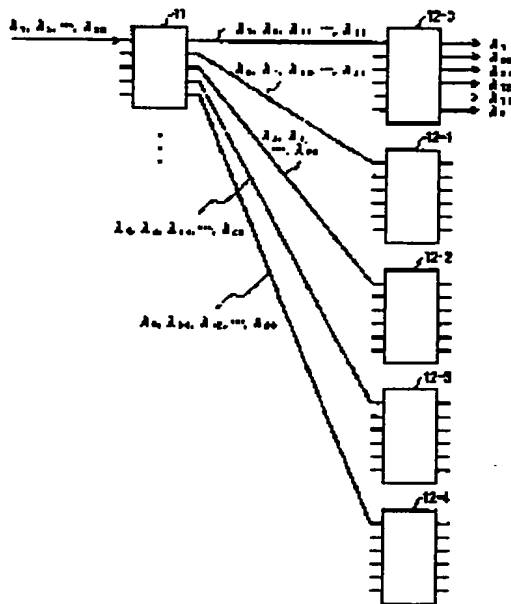
Priority number : 08 7784 Priority date : 19.01.1996 Priority country : JP

(54) OPTICAL SIGNAL PROCESSING CIRCUIT AND NETWORK USING THE PROCESSING CIRCUIT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain a combination of channels that is optimum to secure the satisfactory crosstalk characteristic by setting the number of channels of an optical multiplexing device of every stage at an integer close to $N1/n$ in terms of a principle with each other when N and n show the total number of channels and the number of connection stages respectively.

SOLUTION: The number of channels where only an array lattice filter 11 having 5 channels is placed out of band among those channels which pass the outside of a pass band just once is equal to the number of filters serving as pass bands of other array lattice filters and therefore defined as $30/6-1=4$. In the same way, the number of channels where only an array lattice filter 12-i having 6 channels is placed out of band is defined as $30/5-1=5$. In other words, the number of crosstalk channels is 9 in all. Then an array lattice filter of 30 channels has 29 crosstalk channels, i.e., 20 crosstalk channels decrease. In cascade connection, the number of channels of every stage is defined as a combination of integers 5 and 6 close to $301/2=5.47$. Thus true crosstalk characteristic is improved.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-261175

(43)公開日 平成9年(1997)10月3日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/02			H 0 4 B 9/00	U
H 0 4 J 14/00				E
14/02				M
H 0 4 B 10/18				

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

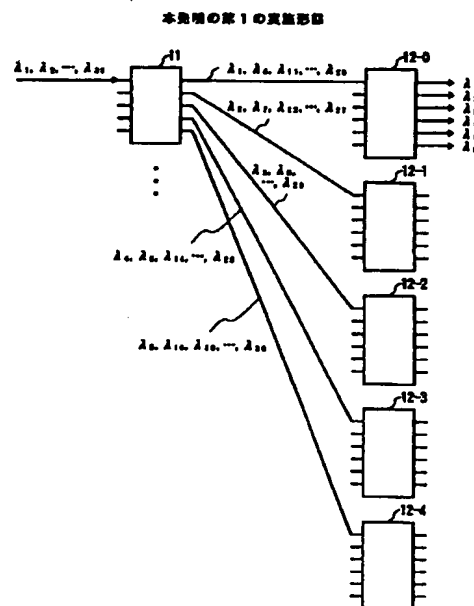
(21)出願番号	特願平8-183794	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22)出願日	平成8年(1996)7月12日	(72)発明者	河合 武司 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平8-7784	(72)発明者	小原 仁 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
(32)優先日	平8(1996)1月19日	(74)代理人	弁理士 古谷 史旺
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】 光信号処理回路およびそれを用いたネットワーク

(57)【要約】

【課題】 多チャンネルの合分波器またはルータとしてクロストーク特性を改善し、さらにクロストークフリーを実現した光信号処理回路、さらにそれをノードに用いて同一波長によるクロストークの発生を抑えたネットワークを実現する。

【解決手段】 縦続接続された各段の光合分波手段のチャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n が互いに素で、かつ $N^{1/n}$ に近い整数値に設定する。ただし、 n は接続段数であり、 N は全体のチャンネル数であり、 $N = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 合分波波長に関して周期性を有する光合分波手段を1以上配置して1つの組とし、さらにn組（nは2以上の整数）の各光合分波手段を縦続接続してn段構成としたときに、各段の光合分波手段で合分波される1周期中のチャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n が互いに素となる整数であり、全体のチャンネル数Nが $a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ となる光信号処理回路において、各段の光合分波手段のチャンネル数が $N^{1/n}$ に近い整数*

$$\sigma = (1 - \delta) / \{2 \ln(1/\alpha)\}^{1/2} \quad \dots(1)$$

の近傍に設定されることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光信号処理回路。

【請求項4】 接続段数nが2または3であることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の光信号処理回路。

【請求項5】 入力または出力される波長多重光の波長多重数が、

$$\min(N/a_1, N/a_2, \dots, N/a_n) \text{ 以下}$$

であることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の光信号処理回路。

【請求項6】 請求項1ないし請求項5のいずれかに記載の光信号処理回路を各ノードの入出力部に含み、各ノードが光ファイバにバス型に接続された構成であることを特徴とするネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数の波長の光信号を小さなクロストークで合分波またはルーチングする光信号処理回路およびそれを用いたネットワークに関する。

【0002】

【従来の技術】図16は、周期性をもつ光合分波手段であるアレイ格子フィルタの構成例を示す。図において、アレイ格子フィルタは、入力用導波路アレイ31、入力側コンケイブスラブ導波路32、導波路長差 ΔL で順次長くなるアレイ導波路33、出力側コンケイブスラブ導波路34、出力用導波路アレイ35を順次接続した構成である。

【0003】入力用導波路アレイ31の所定の入力ポートから入射された光は、入力側コンケイブスラブ導波路32において回折により広がり、その回折面と垂直に配置された導波路アレイ33に導かれる。導波路アレイ33は、各導波路が導波路長差 ΔL で順次長くなっているため、各導波路を伝搬して出力側コンケイブスラブ導波路34に到達した光には導波路長差 ΔL に対応する位相差が生じている。この位相差は波長（光周波数）により異なるので、出力側コンケイブスラブ導波路34のレンズ効果で出力用導波路アレイ35の入力端に集光する際に、波長（光周波数）ごとに異なる位置に集光する。ここで、1つの光路においてその光路長が複数の波長の整

*であることを特徴とする光信号処理回路。

【請求項2】 光合分波手段の各光路上の通過波長以外の波長成分が、少なくとも2段の光合分波手段で除去されるように接続されたことを特徴とする請求項1に記載の光信号処理回路。

【請求項3】 各段の光合分波手段の各チャンネルの中心通過幅 σ が、光合分波手段の各チャンネル中心通過周波数の誤差を δ 、光合分波手段の隣接チャンネル抑圧比を α としたときに、

数倍になりうる。すなわち、アレイ格子フィルタでは各光路を通過できる波長は複数個あり、周期性をもつ合分波器として機能させることができる。

【0004】アレイ格子フィルタは、入力ポートと入力波長が決まると出力ポートが一意に決まる。一方、入力ポートを変えずに入力波長を変えると出力ポートが変化する。また、入力波長を変えずに入力ポートを変えても出力ポートが変化する。ただし、任意の波長の入出力が可能ではなく、アレイ格子フィルタの設計値を満足する一定間隔の波長のみが通過できる。さらに、アレイ格子フィルタは周期性を有しており、通過波長間隔を $\Delta\lambda$ 、チャンネル数（入出力ポート数）をaとすると、各出力ポートには $\Delta\lambda \cdot a$ 間隔の波長の光信号が出力される。

【0005】図17は、アレイ格子フィルタの透過特性を示す。これは、チャンネル数aが16で、所定の入出力ポート間で入力波長のみを変化させたときの結果である。設計中心波長は1551nm、通過波長間隔 $\Delta\lambda$ は1nmである。所定の出力ポートの通過波長間隔が16（ $=1 \times 16$ ）nmになっていることがわかる。入出力ポートを変化させると16nm間隔は変化せず、通過波長間隔 $\Delta\lambda$ の整数倍シフトする。

【0006】一方、マッハツェンダを多段に接続し、多チャンネルの合分波器を構成する方法が提案されている。図18は、多段接続したマッハツェンダ合分波器の構成およびその合分波動作を示す。マッハツェンダは2×2の入出力を有する合分波器であり、周期に従って信号ポートが切り替わる。この周期を2倍、3倍にして多段接続することにより、多チャンネルの合分波が可能になる。周期が f_s のマッハツェンダ41に間隔が f_s の連続した信号 f_i （iは1～4）が入力されると、一方は f_1 と f_3 、他方は f_2 と f_4 の周期 $2f_s$ の信号に分離される。これらを周期 $2f_s$ のマッハツェンダ42～0、42～1に入力すると、各出力ポートから1波長ずつ分波されて出力される。

【0007】また、アレイ格子フィルタのように複数の入出力ポートを有する合分波器を多段に縦続接続し、多チャンネルの合分波器を構成する方法も提案されている（参考文献：Richard A. Barry and Pierre A. Humblet, "Latin routers, design and implementation", J. Lightwave Technol., vol.11, no.5/6, pp.891-899）。こ

ここでは、縦続接続された各段の合分波器のチャンネル数を互いに素の整数にすることにより、最大で各段のチャンネル数の積と同数の入出力チャンネルが実現できることが示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 現在、アレイ格子フィルタの入出力ポート数は 32×32 程度のものが実現できるが、それ以上のものは製作が困難になっている。また、アレイ格子フィルタにおいて、入力波長と入力ポートが決まると出力ポートが一意に決まるが、実は他の出力ポートにも光信号の一部が出力される。以下、所定の出力ポートの光信号パワーと他ポートへの漏れ込みパワーの比を抑圧比という。図17に示す例では、設計中心波長近傍で抑圧比が35dB程度あるが、設計中心波長から離れたところでは抑圧比が30dB以下になっている。これは、アレイ格子フィルタのチャンネル間で特性の不均一が生じているためである。

【0009】さらに、アレイ格子フィルタの出力ポート数が N あり、波長多重された光信号が各出力ポートから分波されて出力される場合に、各出力ポートには信号成分と $(N-1)$ 個の他ポートからの漏れ込みがあることになる。すなわち、出力ポート数の増加はそれだけ他ポートからの漏れ込みが増えることを示しており、多チャンネル構成のものほどクロストークによる影響が大きくなる。

【0010】また、マッハツェンダを多段接続した構成では、マッハツェンダ単体は 2×2 の入出力であるので、全体のチャンネル数を増加させるとマッハツェンダの個数も増加する。7段構成の場合のチャンネル数は $128 (=2^7)$ であり、必要なマッハツェンダの数は $127 (=2^0 + 2^1 + \dots + 2^6 = 2^7 - 1)$ となる。また、複数の入出力ポートを有する合分波器を多段接続して多チャンネル化を図った構成では、チャンネル数に比例して大きくなるクロストークに対する考慮がなされていなかった。

【0011】ところで、各ノードに多チャンネルの合分波器を配置し、各ノードから出力されるそれぞれ異なる波長の光信号を1つの光ファイバで合波させる波長多重伝送システムがある。このシステムでは、互いに異なるノードからある1つのノードへの信号波長が同一になると、フィルタ等で送信ノードを識別することができなくなり、システムの特性を劣化させることになる。以下、この現象を同一波長によるクロストークという。これは、送信ノードでの合分波処理が不完全で、信号波長以外の波長成分も出力される場合に起こる。従来の波長多重伝送システムでは、このような同一波長によるクロストークに対する根本的な対策がなされていなかった。

【0012】本発明は、多チャンネルの合分波器またはルータとしてクロストーク特性を改善し、さらにクロス

* トークフリーを実現した光信号処理回路、さらにそれをノードに用いて同一波長によるクロストークの発生を抑えたネットワークを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】 本発明の光信号処理回路は、縦続接続された各段の光合分波手段（アレイ格子フィルタ）のチャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n が互いに素で、かつ $N1/n$ に近い整数値に設定することを特徴とする（請求項1）。ただし、 n は接続段数であり、 N は全体のチャンネル数であり、 $N = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ となる。

【0014】従来の構成法は、多チャンネルの合分波器を実現することに主眼があり、上述したように各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数が互いに素の関係にあるという条件のみがあった。本発明の光信号処理回路は、さらにクロストーク特性が良好になるように、各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数を $N1/n$ に近い整数に設定する条件を付加する。

【0015】まず、チャンネル数が互いに素となるアレイ格子フィルタを多段に縦続接続することにより、多チャンネルの合分波器を構成できる理由について説明する。所定の波長 λ_i が、チャンネル数 p, q, r のアレイ格子フィルタの所定の出力ポートから出力された場合に、チャンネル数 p のアレイ格子フィルタではその周期性により $\lambda_{i+p}, \lambda_{i+2p}, \lambda_{i+3p}, \dots$ の信号も同時に通過する。同様に、チャンネル数 r のアレイ格子フィルタでは $\lambda_{i+r}, \lambda_{i+2r}, \lambda_{i+3r}, \dots$ の信号も同時に通過する。よって、 p, r が互いに素でその最小公倍数が pr となるので、両者を同時に通過できるのは λ_{i+pr} となる。これは、全体のチャンネル数が pr に拡張され、合分波できる波長数が増えたことを示す。3段構成の場合にも同様に pqr の周期の信号が出力される。

【0016】次に、各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数を $N1/n$ に近い整数に設定することにより、クロストーク特性が改善される理由について説明する。 n 段縦続に接続されるアレイ格子フィルタのチャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n が互いに素であると、全体のチャンネル数 N は $a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ となる。ここで、周期 $a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_{n-1}$ の信号はチャンネル数 a_n のアレイ格子フィルタのみが通過帯域外となり、他の段のアレイ格子フィルタでは減衰を受けない。アレイ格子フィルタ単体の抑圧比が大きい場合には、2回以上減衰を受けるような信号は出力信号にクロストークとして影響を及ぼさない。一方、1度のみ減衰を受ける信号は、単体のアレイ格子フィルタにおける他チャンネルからのクロストークと同一であり、その影響を考慮する必要がある。

【0017】同様に、チャンネル数 a_k ($1 \leq k \leq n$) のアレイ格子フィルタのみで減衰する信号は、周期が $a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_{k-1} \cdot a_{k+1} \cdot \dots \cdot a_n$ で、その数が

$$N / (a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_{k-1} \cdot a_{k+1} \cdot \dots \cdot a_n) - 1 = a_k - 1 \quad \dots (2)$$

となる。これらは、出力にクロストークとして影響して

($N=a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$) を入力した場合に、クロストーク成分として影響するチャンネルの数は

$$\sum_{i=1}^n (a_i - 1) \quad \dots(3)$$

【0019】となり、単体のアレイ格子フィルタの場合の数 ($N-1$) よりも減少する。ここで、相加相乗平均を利用すると、

$$\sum_{i=1}^n (a_i - 1) \geq n((a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n)^{1/n} - 1) = n(N^{1/n} - 1) \quad \dots(4)$$

【0021】であり、 $a_1=a_2=\dots=a_n=N^{1/n}$ のときに理論上クロストークが最小になる。実際には、各段のチャンネル数は互いに素という条件があるので、クロストーク特性がよく、かつ多チャンネルの合分波器を構成するには、各段のチャンネル数が $N^{1/n}$ に近い整数でかつ互いに素であればよい。また、接続段数を増やしたとき★

10★の最小クロストーク $\alpha n(N^{1/n} - 1)$ の値について説明する。ただし、 α はアレイ格子フィルタ単体の抑圧比である。

【0022】
【数3】

$$N^{1/n} = \exp\left[\frac{1}{n} \ln N\right] = 1 + \frac{1}{1!} \left[\frac{1}{n} \ln N\right] + \frac{1}{2!} \left[\frac{1}{n} \ln N\right]^2 + \dots \quad \dots(5)$$

【0023】であるので、 $n \rightarrow \infty$ で、
【0024】

☆【数4】

☆20

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha n(N^{1/n} - 1) = \lim_{n \rightarrow \infty} \alpha \left[\ln N + \frac{1}{2! n} (\ln N)^2 + \dots \right] = \alpha \ln N$$

…(6)

【0025】となる。よって、接続段数を大きくしていくと、クロストークは $\alpha \ln N$ に収束する。なお、マツハツェンダの多段接続構成においても同様の効果が期待できる。しかし、アレイ格子フィルタが通過帯域以外は比較的均一な通過損失であるのに対して、マツハツェンダは周期が長い場合に通過損失が小さいチャンネルが増えるので、アレイ格子フィルタよりもクロストーク改善の効果は小さい。

【0026】また、光合分波手段の各光路上の通過波長以外の波長成分が、少なくとも2段の光合分波手段で除去されるように接続し、さらに入力または出力される波長多重光の波長多重数が、 $\min(N/a_1, N/a_2, \dots, N/a_n)$ 以下とすることにより、クロストークフリーの出力ポートを有する光信号処理回路を実現することができる（請求項2、5）。

【0027】また、各段の光合分波手段の各チャンネルの中心通過幅 σ は、光合分波手段の各チャンネル中心通過周波数の誤差を δ 、光合分波手段の隣接チャンネル抑圧比を α としたときに、 $\sigma = (1 - \delta) / \{2 \ln(1 / \alpha)\}^{1/2}$ の近傍に設定する（請求項3）。また、光合分波手段の接続段数を2または3とする（請求項4）。光合分波手段に製作誤差がなければ、接続段数に比例してクロストーク特性を改善することができる。しかし、製作誤差がある場合には、クロストーク特性の改善効果が得られる接続段数に限界がある。

【0028】また、各ノードを光ファイバにバス型に接続したネットワークにおいて、ネットワークの各ノードの入出力部に上記の光信号処理回路を含むことにより、同一波長によるクロストークの発生を抑えることができる（請求項6）。

【0029】

【発明の実施の形態】

（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態を示す（請求項1）。図において、チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11と、チャンネル数6のアレイ格子フィルタ12-i（iは0～4）は、木構造状に縦続に接続されている。波長多重光（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{30}$ ）がアレイ格子フィルタ11の所定の入力ポートに入力され、アレイ格子フィルタ11、12-iを通過するごとに分波され、アレイ格子フィルタ12-iの各出力ポートから各波長の光信号が出力される。

【0030】ここで、アレイ格子フィルタ11、12-iの機能について説明する。一定波長間隔の信号をアレイ格子フィルタに入力すると、その波長に応じて出力ポートが変化する。そのため、チャンネル数pのアレイ格子フィルタは、それ単体で最大p波の信号を分波することができる。また、アレイ格子フィルタは周期性をもちており、p波以上の信号を所定の入力ポートに入力した場合には1周期離れた2波以上の信号が出力される出力ポートが存在する。すなわち、チャンネル数pのアレイ

格子フィルタのある出力ポートでは、 $\lambda_i, \lambda_{i+p}, \lambda_{i+2p}, \dots$ といった一定周期の信号が出力される。このとき、他の出力ポートでは $\lambda_j, \lambda_{j+p}, \lambda_{j+2p}, \dots$ といった信号が出力される。また、入力ポートの位置を1つずらすと、透過中心波長と出力ポートの対応関係が1チャンネルずつ巡回的にシフトする。

【0031】この周期性により、入出力ポート数が5のアレイ格子フィルタ11の出力は、 $\lambda_1, \lambda_6, \lambda_{11}, \dots, \lambda_{26}$ と、 $\lambda_2, \lambda_7, \lambda_{12}, \dots, \lambda_{27}$ と、 $\lambda_3, \lambda_8, \lambda_{13}, \dots, \lambda_{28}$ と、 $\lambda_4, \lambda_9, \lambda_{14}, \dots, \lambda_{29}$ と、 $\lambda_5, \lambda_{10}, \lambda_{15}, \dots, \lambda_{30}$ に分けられる。次に、入出力ポート数が6のアレイ格子フィルタ12-0の出力は、 $\lambda_1, \lambda_6, \lambda_{11}, \dots, \lambda_{26}$ が1波長ごとに分波される。他のアレイ格子フィルタ12-iにおいても同様に1波長ごとに分波される。

【0032】なお、入力された波長多重信号が各波長ごとに分波されることは、各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数が互いに素であるという条件と、入力信号の波長多重度が各段のチャンネル数の積以下であるという条件により保証される。また、チャンネル数が小さいアレイ格子フィルタから順番に縦続接続することにより、合分波器全体のアレイ格子フィルタの個数を減らすことができる。いま、チャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n のアレイ格子フィルタを順番に木構造状に縦続接続するとする。このとき、必要なアレイ格子フィルタの個数は、 $1 + a_1 + (a_1 \cdot a_2) + \dots + (a_1 \cdot \dots \cdot a_n)$ となる。ここで、アレイ格子フィルタの順番を変えたとき、この式の第i項は、 a_1, a_2, \dots, a_n の中から互いに異なる(i-1)個を選んだときの積となる。したがって、チャンネル数が小さいアレイ格子フィルタから順番に並んでいる場合には、その第i項は a_1, a_2, \dots, a_n の中から小さい順番で選んだ(i-1)個の積となり、最小の組み合わせと一致する。これにより、必要なアレイ格子フィルタの個数を減らすことができる。

【0033】また、図1に示すアレイ格子フィルタ11, 12-iでは、1番上の入力ポートを使用しているが、任意の入力ポートを選択することができる。入力ポートの位置を変えることにより、各出力ポートの信号波長が変わる。また、初段のアレイ格子フィルタ11と第2段のアレイ格子フィルタ12-iの接続を変えなくても、アレイ格子フィルタ11の入力ポートを変えるだけで出力ポートの波長を変えることができる。

【0034】以上の説明は、入力信号が分波される分波器としての動作を示したが、個々の部品が対称性をもつので、アレイ格子フィルタ12-iから入力してアレイ格子フィルタ11から出力すれば、合波器として機能させることもできる。次に、各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数を $N^{1/n}$ に近い整数に設定することにより、クロストーク特性が改善されることを図2および図3を参照して具体的に説明する。

【0035】図2において、(1)はチャンネル数5のアレイ格子フィルタ11の透過特性を示し、(2)はチャンネル数6のアレイ格子フィルタ12-iの透過特性を示し、(3)はアレイ格子フィルタ11, 12-iを縦続接続し、チャンネル数30としたときの透過特性を示し、(4)は単体でチャンネル数30のアレイ格子フィルタの透過特性を示す。チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11の透過特性(1)は、5チャンネル周期の透過出力1-1と、その他の出力1-0, 1-2に分けられる。チャンネル数6のアレイ格子フィルタ12-iの透過特性(2)は、6チャンネル周期の透過出力2-2と、その他の出力2-0, 2-1に分けられる。

【0036】透過出力1-1, 2-2のレベルをaとし、その他の出力1-0, 1-2, 2-0, 2-1のレベルをbとすると、アレイ格子フィルタ単体の抑圧比は a/b で定義される。アレイ格子フィルタを縦続接続したときの出力は、各アレイ格子フィルタの透過特性の積で表される。アレイ格子フィルタ単体の抑圧比が十分大きい場合には、2回以上帯域外を通過するチャンネルについては出力として現れない。図2では、1回のみ通過帯域外となる1-1と2-1の積が3-1として、また1-2と2-2の積が3-2として出力されるが、2回以上通過帯域外となる1-0と2-0の積は出力として現れない。

【0037】このとき、1回のみ通過帯域外を通るチャンネルのうち、チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11のみが帯域外となるチャンネル数は、残りのアレイ格子フィルタの通過帯域となるチャンネル数に等しいので、 $30/6-1=4$ となる。なお、3段以上の縦続接続の場合には残り2段以上ですべて通過帯域となる必要がある。同様に、チャンネル数6のアレイ格子フィルタ12-iのみが帯域外となるチャンネル数が $30/5-1=5$ となる。すなわち、クロストークとなるチャンネルは合計で9チャンネルとなる。チャンネル数30のアレイ格子フィルタの場合には29チャンネルのクロストークがあるので、クロストーク成分が20チャンネル分低減されたことになる。

【0038】また、積が30となる2つの素数の組み合わせは、(2,15)、(3,10)、(5,6)がある。図3は、チャンネル数10のアレイ格子フィルタと、チャンネル数3のアレイ格子フィルタを縦続接続した場合の透過特性を示す。図2で説明したように、縦続接続によりクロストークとなるチャンネルは $(30/3-1) + (30/10-1) = 9 + 2 = 11$ となる。このように、全体のチャンネル数30を2段の縦続接続により構成する場合には、各段のチャンネル数を $30^{1/2} = 5.47$ に近い整数、すなわちチャンネル数5と6の組み合わせとすることにより、クロストーク特性を改善できることがわかる。

【0039】図4は、2段構成により改善されるクロストーク量を示す。これは、アレイ格子フィルタを2段縦続接続し、全体のチャンネル数を変化させ、各全体チャ

ンネル数でクロストーク特性が最適となるように、各段のチャンネル数を $N/2$ に近い互いに素となる整数に設定したときのクロストーク改善量を示す。計算では、アレイ格子フィルタ単体の抑圧比を30dBとした。実点は、各段が互いに素の整数となる点を示している。太い実線4-0は、各段のチャンネル数を $N/2$ で構成した場合の結果をプロットしたものである。このときのクロストークが理論上の最小値となる。また、細い実線4-1,4-2,4-3,...は、アレイ格子フィルタの1段目と2段目のチャンネル数の組み合わせ $(2, N/2)$, $(3, N/3)$, $(4, N/4)$, ...を

【0040】各段のチャンネル数の組み合わせが $(2, N/2)$ のときに、クロストークが約3dB改善されるのは、2段にすることにより他チャンネルからの漏れ込みが約 $N/2$ に減少するためである。同様に、各段のチャンネル数の組み合わせが $(3, N/3)$ および $(4, N/4)$ のときにも、全体のチャンネル数 N によらずにクロストークが改善される。また、所望のチャンネル数で理論値に近い値となるとは限らないが、出力チャンネル数が100程度のときに、 $(10, 9)$ や $(10, 11)$ などの組み合わせによりクロストークが約7dB改善されることがわかる。

【0041】(第2の実施形態)図5は、本発明の第2の実施形態を示す(請求項2, 請求項5)。図において、チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11と、チャンネル数3のアレイ格子フィルタ13-0~13-4と、チャンネル数2のアレイ格子フィルタ14-0~14-5は、木構造状に縦続に接続されている。第1の実施形態で示したように、入力される波長多重信号は波長に応じて各アレイ格子フィルタでルーチングされる。 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6$ は、入力信号がルーチングされる様子を

$$\min(N/5, N/3, N/2) = N/5 = 6 \quad \dots(7)$$

で与えられる。一般に、チャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n が互いに素となるアレイ格子フィルタを多段に縦続接続し※

$$\min(N/a_1, N/a_2, \dots, N/a_n)$$

となる。ただし、 $N = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ である。

【0044】ところで、2チャンネルのアレイ格子フィルタ14-6~14-14は、クロストーク成分のみが出力されることになるので接続する必要がなくなる。また、クロストークフリーという条件がない場合には、本実施形態の構成では最大 $5 \times 3 \times 2 = 30$ チャンネル分の信号を合分波することが可能である。しかし、本実施形態では、入力波長数を6に制限してアレイ格子フィルタに冗長性をもたせ、帯域通過フィルタの役割を担わせることによりクロストークフリーが実現されることを示している。

【0045】(第3の実施形態)図6は、本発明の第3の実施形態を示す(請求項2, 請求項5)。図5に示す第2の実施形態において、1波長の信号成分しか通過しないアレイ格子フィルタ13-1~13-4, 14-0

*だけアレイ格子フィルタの帯域外を通過した信号成分を示す。

【0042】ここで、波長ルーチングの様子と、そのときに発生するクロストークの様子について説明する。まず、信号 λ_1 がアレイ格子フィルタ11に入力すると、次のアレイ格子フィルタ13-0にルーチングされる。このとき、クロストーク成分(λ_1)が他のアレイ格子フィルタ13-1~13-4にルーチングされる。アレイ格子フィルタ13-0に入力された信号 λ_1 は、次のアレイ格子フィルタ14-0にルーチングされる。このときにも、クロストーク成分(λ_1)が残りの2つの出力ポートに出力される。一方、アレイ格子フィルタ13-1~13-4にルーチングされたクロストーク成分(λ_1)は、信号 λ_1 と同様にルーチングされる。このとき、クロストーク成分(λ_1)からさらにクロストーク成分が発生するが、アレイ格子フィルタの抑圧比が大きい場合には2回以上帯域外を通過したことになるので無視される。以上より、信号 λ_1 が出力される出力ポートと、1回だけ帯域外を通過したクロストーク成分(λ_1)が出力される出力ポートが決まる。

【0043】同様にして信号 λ_2 がルーチングされて出力される出力ポートと、そのクロストーク成分(λ_2)が出力される出力ポートが決まる。このとき、クロストーク成分(λ_2)がそれ以前に出力ポートを決めた信号 λ_1 に重ならないことは、対称性から保証される。以下同様に、信号 $\lambda_3, \lambda_4, \dots$ の出力ポートと、そのクロストーク成分の出力ポートが決まる。そして、クロストークが発生していないチャンネルにルーチングできなくなった時点で、クロストークフリーとなる最大入力波長数と出力ポートが決定される。このときの最大入力波長数は、全体のチャンネル数を $N (= 5 \times 3 \times 2 = 30)$ とおくと、

※た場合には、クロストークフリーとなる最大入力波長数は

$$\dots(8)$$

~14-5は、クロストーク成分を他の出力ポートにルーチングすることにより信号成分のみを取り出す帯域通過フィルタと同等の役割を果たしている。

【0046】本実施形態は、アレイ格子フィルタ13-1~13-4, 14-0, 14-1を帯域通過フィルタ15-0~15-5に置き換えたものである。ただし、帯域通過フィルタの抑圧比などの特性はアレイ格子フィルタと同等とする。なお、帯域通過フィルタは所望の波長のみを取り出すことができるので、3段目のアレイ格子フィルタ14-2~14-5に対応する帯域通過フィルタは不要となる。このように、アレイ格子フィルタと帯域通過フィルタを併用することにより、クロストークフリーでかつ信号出力の減衰を受けない合分波器を少ない部品数で実現することができる。

【0047】(第4の実施形態)図7は、本発明の第4

の実施形態を示す（請求項6）。図において、ノード21-0～21-2には、それぞれ信号 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ が入力される。各ノードで波長多重された信号は、光ファイバ22-0～22-2を介してバス状に配置された光ファイバ23に送出され、各ノード専用の引き込み光ファイバ24～0～24-2を介して各ノードに伝送される。本構成において、2つのノードに着目すると2段の光クロスコネクタに等しいシステムになっている。よって、送信波長の割り当てにより、光ファイバの接続形態を変えることなく任意のバス設定要求に対して柔軟に対応することができる。

【0048】ここで、ノード21-1、21-2からノード21-0への送信波長がそれぞれ λ_1, λ_2 とする。このとき、各信号が他方のクロストーク成分（ λ_2 ）（ λ_1 ）を含んでいたとすると、バス上で信号 λ_1 とクロストーク成分（ λ_1 ）、信号 λ_2 とクロストーク成分（ λ_2 ）が同一波長のクロストークとなる。このようなクロストークはフィルタで除去できないので、システム特性の劣化要因となる。

【0049】同一波長のクロストークを発生させないためには、各ノードからの信号をクロストークフリーとすればよい。第2の実施形態および第3の実施形態で示したクロストークフリーとなる合分波器を各ノードに備えることにより、伝送路上で同一波長によるクロストークが発生しないようにできる。図8は、ノード21の構成*

$$\sum_{i=1}^n \frac{N}{a_i} \quad \dots(9)$$

【0053】となる。ここで、

【0054】

※【数6】

※30

$$\sum_{i=1}^n \frac{N}{a_i} \geq n \left(\frac{N}{a_1} \cdot \dots \cdot \frac{N}{a_n} \right)^{1/n} \quad \dots(10)$$

【0055】で、等号が成立するのは $N/a_1 = N/a_2 = \dots = N/a_n$ のときである。よって、 $a_1 = a_2 = \dots = a_n = N/1/n$ のときに最小になる。なお、本構成は3段構成の30×30波長ルーチング回路となっている。このためには、例えば第1段のアレイ格子フィルタ11-0～11-5の前段に空間スイッチを配置し、入力波長と各入力ポートとの間でスイッチングを行う。

【0056】ここで、各出力ポートからの信号はクロストークフリーであるので、これらを各ノードに割り振り、所定のノードへの出力信号が各ノードで異なるようにすれば、同一波長によるクロストークは発生しない。たとえば、ノード21-0への出力信号として、ノード21-1からはアレイ格子フィルタ14-0からの出力を割り当て、ノード21-2からはアレイ格子フィルタ14-1からの出力を割り当てることにより、クロストークフリーが実現できる。

【0057】（第5の実施形態）図8に示す3段構成の

*例を示す。

【0050】図において、チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11-0～11-5と、チャンネル数3のアレイ格子フィルタ13-0～13-9と、チャンネル数2のアレイ格子フィルタ14-0～14-14は、木構造状に継続に接続されている。図5に示す第2の実施形態では初段のアレイ格子フィルタは1つであったが、ここでは各段のアレイ格子フィルタを全体のチャンネル数30に対応する数だけ配置してフルメッシュで接続している。第1段のアレイ格子フィルタ11-0～11-5の入力波長は、第3段のアレイ格子フィルタ14-0から信号 $\lambda_1 \sim \lambda_{30}$ が出力される場合のものである。入力ポートと入力波長の組み合わせにより、他のアレイ格子フィルタ14-1～14-5から任意の波長の出力も可能である。

【0051】本構成においても、各段のアレイ格子フィルタのチャンネル数を $N/1/n$ に近い整数とすることにより、アレイ格子フィルタの必要個数を少なくすることができる。すなわち、チャンネル数 a_1, a_2, \dots, a_n のアレイ格子フィルタを多段接続する場合に、チャンネル数 a_i のアレイ格子フィルタの必要個数は N/a_i である。ただし、 $N = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ である。よって、全体に必要な個数は

【0052】

【数5】

30×30波長ルーチングスイッチ回路は、最大6個のクロストークフリーな出力ポートが存在する。したがって、全体として6×6のクロストークフリーな波長ルーチングスイッチ回路を構成することができる。その場合には、入出力の方向によらないが、例えば左側から入力する構成例を図9に第5の実施形態として示す（請求項5）。

【0058】チャンネル数5のアレイ格子フィルタ11-0～11-5の各1つの入力ポートに、それぞれ連続した6個の入力波長 $A_1 \sim A_6, B_{28} \sim B_3, C_{29} \sim C_4, D_{26} \sim D_1, E_{27} \sim E_2, F_{30} \sim F_5$ の各1つを入力する。ここで、 $A \sim F$ は各アレイ格子フィルタに対応して表示したものであり、添字の数字が同じものは同一波長を示し、使用波長数は11個である。図9に示すように入力波長と入力ポートを設定することにより、クロストークフリーとなる出力ポートには、各入力ポートから1信号ずつ合計6波長分が出力される。図9に示す出力

信号の並びはすべてD, E, B, C, F, Aとなっており、アレイ格子フィルタ14-0~14-5からは、それぞれ波長D26~A1、D1~A6、D27~A2、D28~A3、D29~A4、D30~A5の各信号が出力される。このように、本波長ルーチング回路は、波長の並びに関してコンパクトな性質を有する。

【0059】本波長ルーチング回路では、任意の入力ポートを1つ選び、連続したG個の波長の1つを入力する。ただし、Gはクロストークフリーな出力ポート数である。ここで、入力波長の最初のを λ_S とする。上記のクロストークフリーとなる出力ポートのうち、 λ_S 以外が出力される出力ポートに λ_S が出力される入力ポートを探す。これらの入力ポートから信号を入力した場合に、クロストークフリーとなる出力ポートに信号が出力される波長の範囲を探す。

【0060】(第6の実施形態)図9に示す第5の実施形態の30×30波長ルーチング回路は、クロストークフリーとなる出力ポート数G(6個)よりも使用波長数(11個)が多くなる。この使用波長数をクロストークフリーな出力ポート数Gに削減するための構成例を図10に第6の実施形態として示す(請求項5)。

【0061】入力側のアレイ格子フィルタ11-0~11-5の入力ポートと入力波長はすべて同一である。また、図9の構成では、各アレイ格子フィルタ11-0~11-5の同じ位置の入力ポートから同じ波長を入力した場合には、互いに異なる出力ポートに出力されるので、同一波長光源を最大6個用意する必要があった。それに対して図10の構成では、同じ位置の入力ポートから同じ波長を入力した場合には、同一波長が重なるので送信側の光源は全部で6個に制限される。すなわち、アレイ格子フィルタ11-0~11-5にはそれぞれ6個の入力波長のうちの1つで、かつ互いに波長が重ならないように選択する。また、本実施形態では、入力のアレイ格子フィルタの位置によらず、入力波長と出力ポートが1対1に対応しているので設計が容易となる利点がある。

【0062】次に、使用波長数を削減するための構成法について図11を参照して説明する。ここでは、2段の場合の構成手順を示す。図11(1)に示すように、1段目のアレイ格子フィルタ25-0が1個のときに、2段目のアレイ格子フィルタ26-0~26-2に接続し、連続したG個の波長を入力して出力ポートを決定する。次に、点線で示した部分と同一構成のアレイ格子フィルタを同一箇所にカブラ27-0~27-2を介して増設する(図11(2))。この構成の場合には使用波長数は削減できるが、カブラ部分での損失が避けられない。

【0063】(アレイ格子フィルタの製作誤差に対する解決法)ところで、以上説明した光信号処理回路(多段接続構成の光合分波回路)では、構成部品のアレイ格子フィルタは理想的な特性を有すると仮定されており、実

際の製作誤差は考慮されていない。たとえば、各チャンネルの中心通過周波数が信号波長からずれている場合は、そのチャンネルの出力が減少する。また、多段構成の場合には、各段の誤差の影響が累積するので、アレイ格子フィルタ単体で構成した場合よりも製作誤差の影響を大きく受ける。そのため、上記の実施形態のように多段化によってクロストーク特性を改善しようとしても、製作誤差がそれを阻む要因となってしまう。

【0064】以下、アレイ格子フィルタの製作誤差の影響を低減するための各チャンネルの中心通過幅とクロストーク特性との関係について説明する(請求項3)。さらに、実際の製作誤差を考慮した多段構成の実現規模について説明する(請求項4)。図12は、アレイ格子フィルタに製作誤差がある場合の各チャンネルの出力を示す。ここで、アレイ格子フィルタの各チャンネル中心通過周波数の誤差を δ 、アレイ格子フィルタの隣接チャンネル抑圧比を α とする。

【0065】各チャンネルの中心通過周波数に誤差がある場合に、各段のアレイ格子フィルタの誤差の向きと大きさは独立にとることができるが、ここでは全段中最大の誤差をもつアレイ格子フィルタの誤差の向きと大きさを全段のアレイ格子フィルタがもつとした最悪条件における特性を調べる。なお、各段の誤差の向きの組み合わせにおいて、各チャンネルの透過特性はその中心に対して対称であるので、誤差の向きによらず誤差の大きさの絶対値のみで決まる。したがって、各段の誤差の向きは同一であるとしても問題はない。

【0066】また、数値計算では、各段の透過特性関数 $F(\delta, \sigma)$ は、図12(a)に示すように通過チャンネルの抑圧比 α がガウス型($\exp(-\delta^2/2\sigma^2)$)であり、通過損失が抑圧比以上になる部分以外は平坦な透過特性を有しているとする。図12において、丸印が各段の出力を示す。なお、上段はある1つの段の出力を示し、下段はその他の段の出力を示す。2回以上通過帯域外となるチャンネル(ア)については、十分にその大きさが抑えられるのでクロストーク成分とはならない。また、1回だけ通過帯域外となるチャンネル(イ)は、クロストーク成分として影響することになる。このとき、接続段数がn段であるとする、これらのクロストーク成分は(n-1)段の各段の誤差の影響を受けることになる。同様に、チャンネル(ウ)はすべての段を通過するので、n段分の誤差の影響を受けることになる。信号チャンネルおよびクロストークチャンネルともに、中心通過周波数に誤差がある場合にはその出力は減少する。

【0067】また、図12(b)に示すように、各チャンネルの中心通過幅が大きくなると、隣接チャンネルからの漏れ込みにより多段接続後の出力が増加するクロストークチャンネルがある。一般に、これらの隣接チャンネルからの漏れ込みによる出力増加は、誤差によって隣接チャンネル間隔が狭くなる場合で、

$$F(\delta, \sigma)^{n-1} F(1-\delta, \sigma) \quad \dots(11)$$

誤差によって隣接チャンネル間隔が広がる場合で、
 $F(\delta, \sigma)^{n-1} F(1+\delta, \sigma) \quad \dots(12)$
 と表される。

【0068】また、この例でわかるように互いに素な整数 m, n において、0 から mn までの整数に対して両者の倍数の差が1となる箇所は2箇所ある。よって、2段構成のアレイ格子フィルタでは、各段のクロストークチャンネルが隣接しあうのは、2箇所あることになる。そのため、隣接チャンネルからの漏れ込みにより出力が増加するのは、 $2 \times 2 = 4$ チャンネルあることになる。接続段数が3以上の場合には、その内のある段の出力と残りの段すべての積による出力の2つに分けて考えれば、上記の考えが適用できる。すなわち、 n 段接続の場合には、 $2 \times n$ チャンネルの出力が漏れ込みにより増大する。

【0069】図13は、アレイ格子フィルタに製作誤差*

$$\frac{(c-2n)\alpha+n\{F(1-\delta, \sigma)+F(1+\delta, \sigma)\}}{F(\delta, \sigma)} \quad \dots(13)$$

【0072】となる。ただし、 c は、製作誤差と隣接チャンネルからの漏れ込みがない場合のクロストークチャンネルの数であり、

$$c = \sum_{i=1}^n (a_i - 1)$$

【0074】である。アレイ格子フィルタに製作誤差があり、各チャンネルの通過幅 σ が狭い場合には信号チャンネルの出力低下によりクロストーク特性が決まる。隣接チャンネルからの漏れ込みが生じないチャンネル幅の範囲では、幅を広くした方が製作誤差の影響を低減できる。また、通過幅を大きくしていったときに改善量が劣化しはじめるのは、隣接チャンネルからの漏れ込みであるので、

$$F(1-\delta, \sigma) = \alpha \quad \dots(15)$$

となる σ が漏れ込みが生じるときの通過幅となる。よって、通過幅 σ が式(1)の近傍で決められるとき、製作誤差によるクロストーク特性の劣化を抑えることができる。

【0075】図14は、チャンネル通過幅を変化させたときのクロストーク改善量を示す。ここでは、1段目および2段目のチャンネル数がそれぞれ10および11であり、全体のチャンネル数が110であり、各段の誤差の大きさを0.1程度としている。縦軸はアレイ格子フィルタ単体のときのクロストーク特性からの改善量を示す。図には、式(13)に基づく解析結果①と、図13に示すすべてのチャンネルの出力を各段の透過特性から計算して求

*がある場合の多段接続後の出力を示す。(a)は各チャンネルの中心通過幅 σ が狭い場合であり、(b)は広い場合である。各チャンネルの中心通過幅 σ は、チャンネル間隔の設計値で規格化している。チャンネルの中心通過幅 σ が狭い場合には信号チャンネルの出力低下が支配的であり、広い場合には隣接チャンネルの漏れ込みにより特定のクロストークチャンネルの出力が増加している。図13(b)では、チャンネル10, 11, 99, 100のクロストークチャンネルの出力が増加していることがわかる。

10 【0070】中心通過周波数の誤差による出力の低下は、信号チャンネルがクロストークチャンネルよりも1段分余計に影響を受けるということと、 $2 \times n$ チャンネルの漏れ込みによるクロストークチャンネルの出力増大を考慮すると、多段接続回路全体のクロストーク特性(全クロストーク出力) / (信号出力)、

【0071】

【数7】

※【0073】

【数8】

※(14)

めた結果②を示すが、両者は一致しており式(1)による最適通過幅が妥当であることがわかる。なお、アレイ格子フィルタに製作誤差がない場合の改善量③も併せて示している。これと比較すると、本発明によりチャンネル通過幅を最適値に設定することにより、製作誤差がない場合のクロストークの改善量からの劣化量が0.5dB程度に抑えられていることがわかる。

【0076】また、アレイ格子フィルタが製作誤差をもつ場合の多段接続によるクロストーク特性において、チャンネル間隔(FSR)に誤差がある場合について説明する。クロストークチャンネル出力は、信号チャンネルより誤差の影響を受ける段数が1段分少ないことと、信号チャンネルで誤差が最大累積する最悪ケースを想定すると、チャンネル間隔(FSR)誤差によるクロストークチャンネルの出力低下は、信号チャンネルの出力低下と比較すると無視でき、信号チャンネルの出力低下のみを考慮すればよい。よって、このときのクロストーク特性は、

【0077】

【数9】

$$10 \log(\alpha(N-1)) - 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - 1)}{F(N\delta f)^*} \right) \quad \dots(15)$$

【0078】と表される。また、クロストーク特性をよくするために、各段のチャンネル数は $N^{1/n}$ に近づけた方がよいので、式(15)は、

$$10 \log(\alpha(N-1)) - 10 \log \left(\frac{\alpha n (N^{1/n} - 1)}{F(N\delta f)^*} \right) \quad \dots(16)$$

【0080】となる。式(16)の第2項の分子は、多段接続によるクロストーク特性の改善に相当し、分母は、製作誤差によるクロストーク特性の飽和または劣化を示している。この式に基づいて計算すると、全体のチャンネル数 N や誤差 δf によらず、約3段接続程度で改善量が低下しはじめる。すなわち、チャンネル間隔(FSR)誤差がある場合には、2または3段接続程度で接続段数に対する改善度が限界となる。

【0081】図15は、接続段数を変化させたときのクロストーク改善量を示す。ここでは、多段接続後のチャンネル数を100とした場合(図15(a))と、500とした場合(図15(b))の結果を示す。各図のパラメータはチャンネル間隔(FSR)の誤差である。アレイ格子フィルタに製作誤差がない場合には、接続段数の増加により単調にクロストーク特性が改善される。また、製作誤差が小さい場合には、3段接続程度で改善量が飽和している。さらに、製作誤差が大きくなると、3段接続以上で特性が劣化し始めている。

【0082】また、全体のチャンネル数、誤差の大きさによらず、特性が劣化し始めるのが3段接続程度あることがわかる。したがって、アレイ格子フィルタに製作誤差がある場合には、本発明のように2または3段接続が最も効果的にクロストーク特性の改善を図ることができる。

【0083】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光信号処理回路では、各段の光合分波手段のチャンネル数が互いに素で $N^{1/n}$ に近い整数とすることにより、良好なクロストーク特性を得る最適なチャンネル数の組み合わせが可能となった。例えば、約100チャンネルの合分波器を構成する場合には、10と11のチャンネルの組み合わせにより、クロストークが7dB程度改善される。

【0084】また、クロストーク成分が少なくとも2段の光合分波手段を通過することにより除去でき、さらに波長多重数を $\min(N/a_1, N/a_2, \dots, N/a_n)$ 以下とすることにより、クロストークフリーの出力ポートを有する光信号処理回路を実現することができる。また、光合分波手段(アレイ格子フィルタ)の各チャンネルの中心通過幅を式(1)の値に設定することにより、製作誤差をよる

クロストーク特性の改善量の劣化を最小限に抑えることができる。例えば、2段で110チャンネルのものを構成した場合でも、誤差がチャンネル間隔の0.1倍のときに0.5dB程度に抑えることができる。

【0085】また、製作誤差がある場合には、クロストーク特性を改善できる現実的な接続段数が2または3程度あることが明らかになった。例えば、多段接続後のチャンネル数が100チャンネルの場合には、チャンネル間隔の誤差が0.0015程度あると、3段以上多段に接続してもクロストーク特性の改善が望めないことがわかった。

【0086】また、本発明の光信号処理回路をネットワークのノードに配置し、ノード構造は同じままで各ノード間の接続チャンネルを変えることにより、同一波長のクロストークの発生を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態を示す図。

【図2】第1の実施形態におけるクロストーク特性改善の定性的理由を説明する図。

【図3】第1の実施形態におけるクロストーク特性改善の定性的理由を説明する図。

【図4】2段構成により改善されるクロストーク量を示す図。

【図5】本発明の第2の実施形態を示す図。

【図6】本発明の第3の実施形態を示す図。

【図7】本発明の第4の実施形態を示す図。

【図8】ノード21の構成例を示す図。

【図9】本発明の第5の実施形態を示す図。

【図10】本発明の第6の実施形態を示す図。

【図11】第6の実施形態における使用波長数を削減するための構成法を説明する図。

【図12】アレイ格子フィルタに製作誤差がある場合の各チャンネルの出力を示す図。

【図13】アレイ格子フィルタに製作誤差がある場合の多段接続後の出力を示す図。

【図14】チャンネル通過幅を変化させたときのクロストーク改善量を示す図。

【図15】接続段数を変化させたときのクロストーク改善量を示す図。

【図16】アレイ格子フィルタの構成例を示す図。

【図17】アレイ格子フィルタの透過特性を示す図。

【図18】多段接続したマツハツェンダ合分波器の構成およびその合分波動作を示す図。

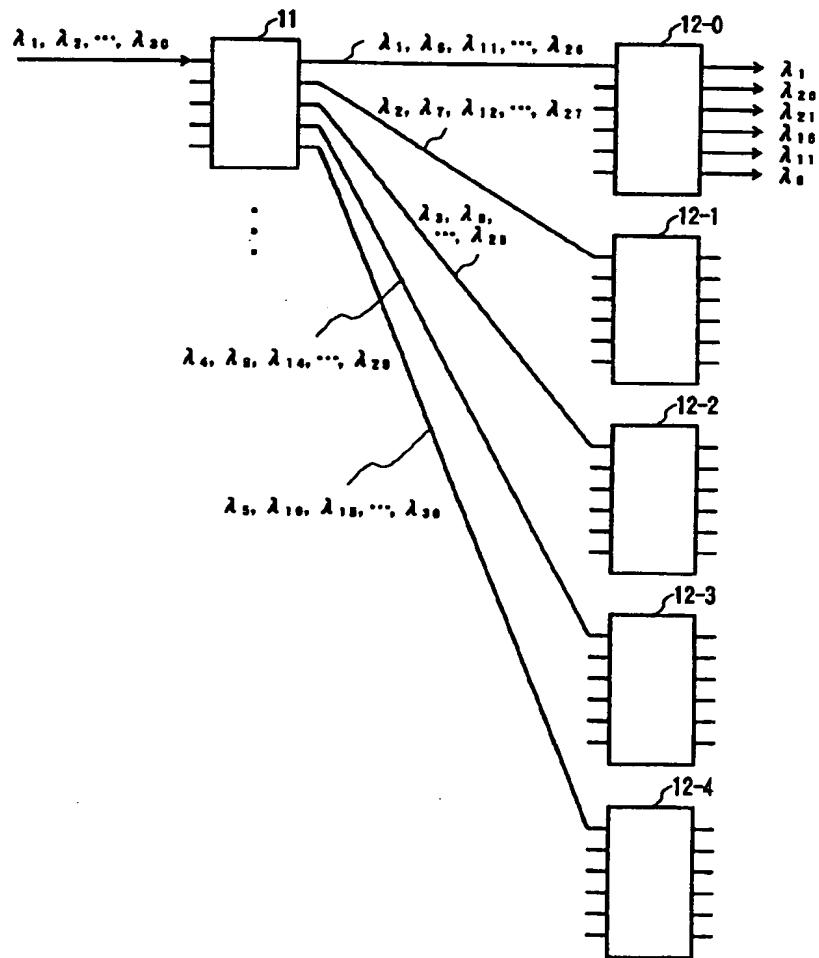
【符号の説明】

- 11 チャンネル数5のアレイ格子フィルタ
- 12 チャンネル数6のアレイ格子フィルタ
- 13 チャンネル数3のアレイ格子フィルタ

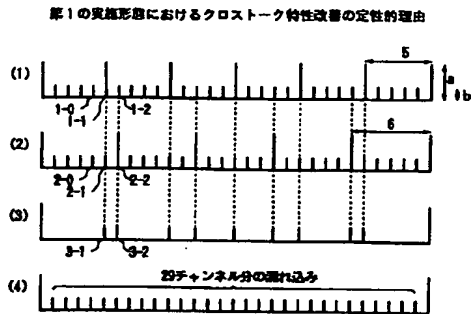
- 14 チャンネル数2のアレイ格子フィルタ
- 15 帯域通過フィルタ
- 21 ノード
- 22, 23, 24 光ファイバ
- 25, 26 アレイ格子フィルタ
- 27 カプラ

【図1】

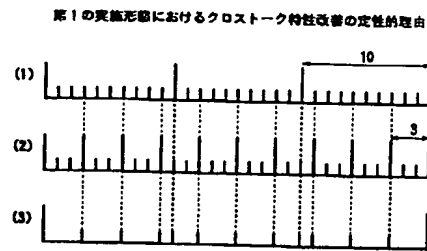
本発明の第1の実施形態



【図2】

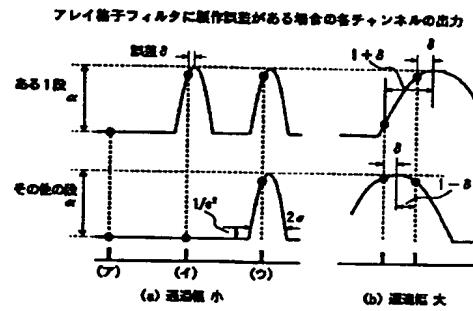
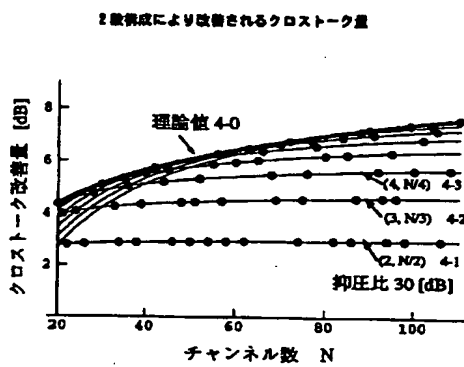


【図3】



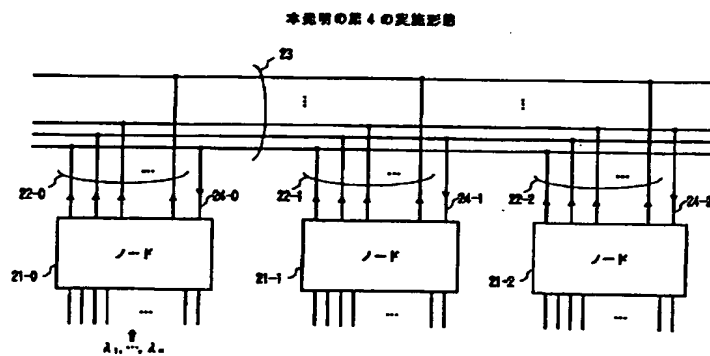
【図12】

【図4】

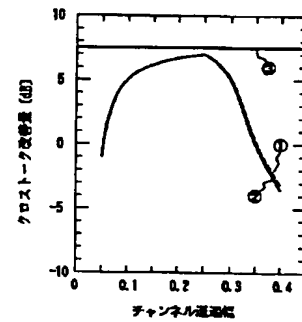


【図14】

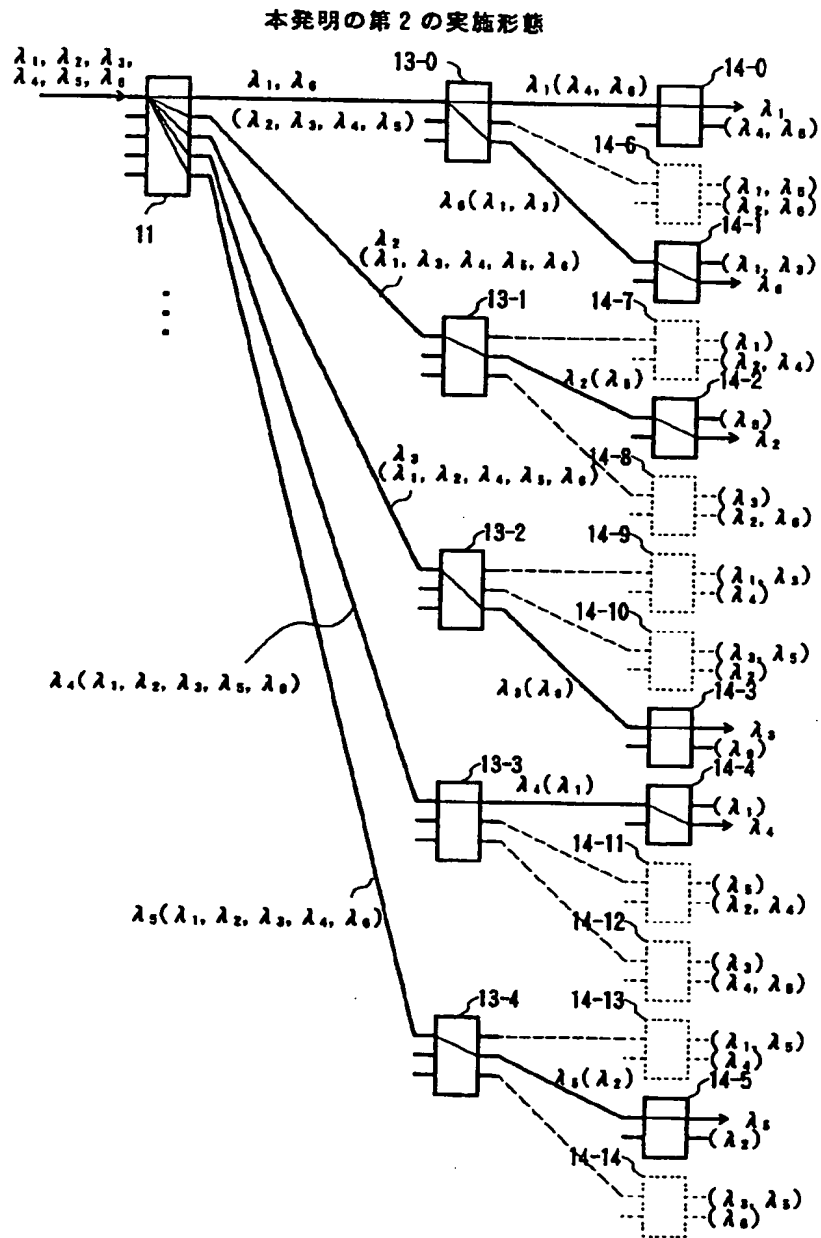
【図7】



チャンネル通過幅を変化させたときのクロストーク改善量

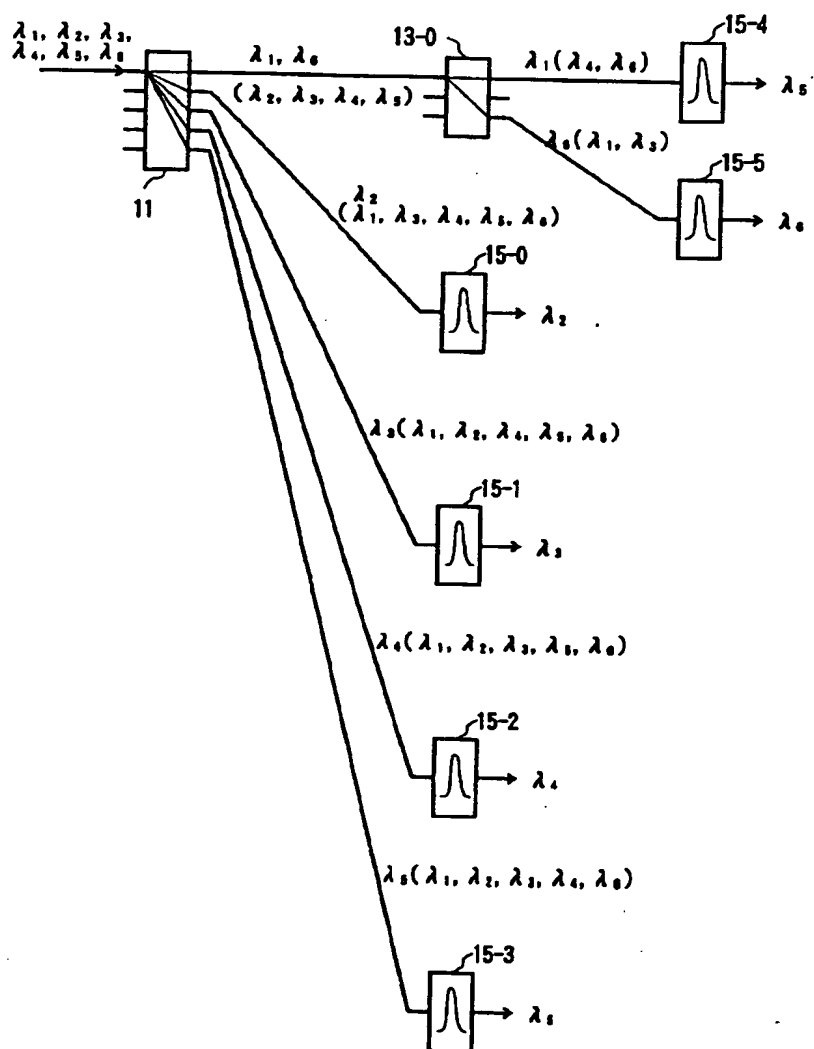


【図5】

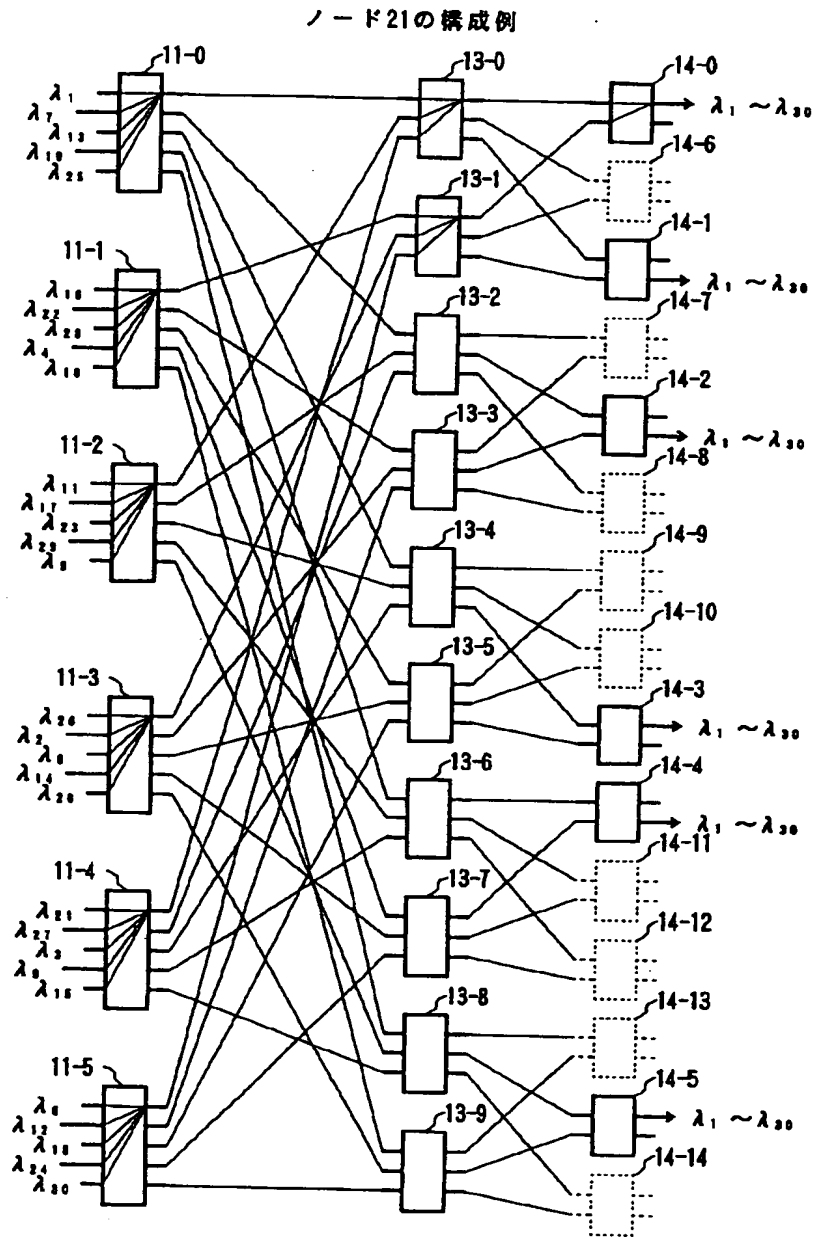


【図6】

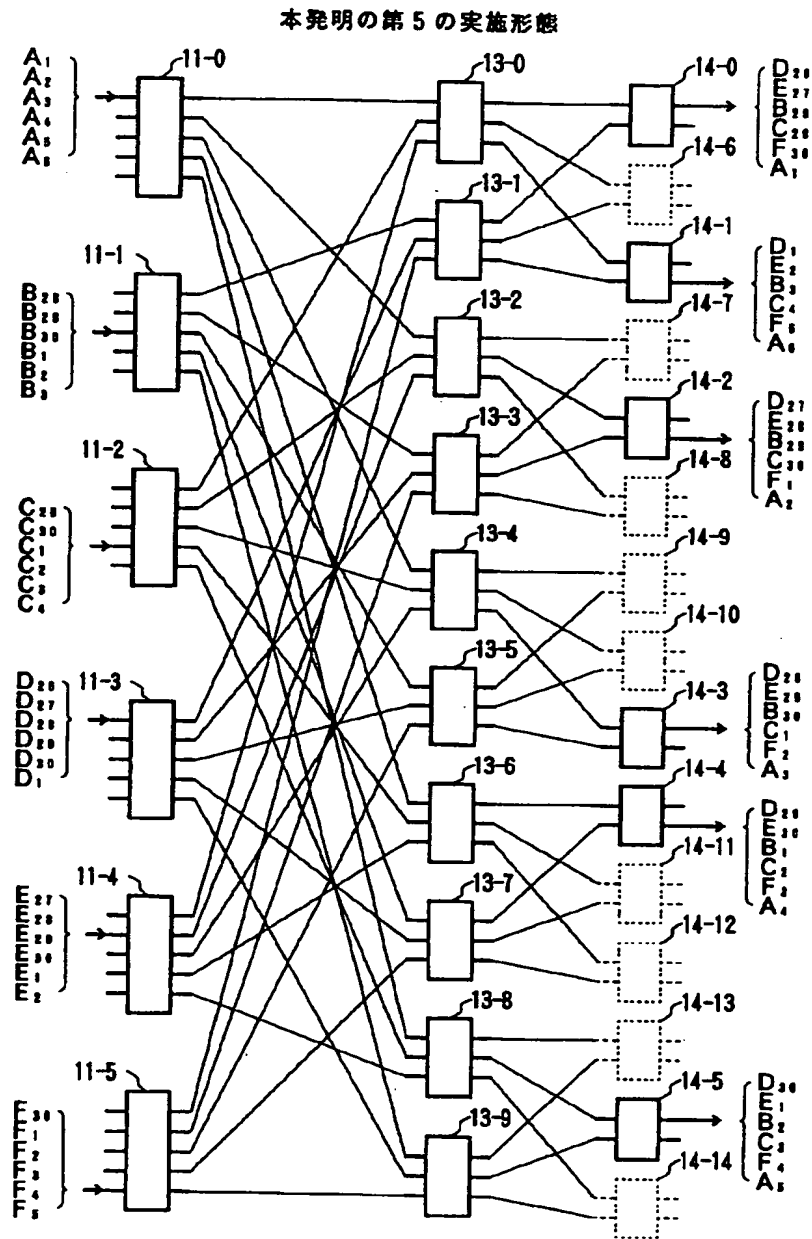
本発明の第3の実施形態



【図8】

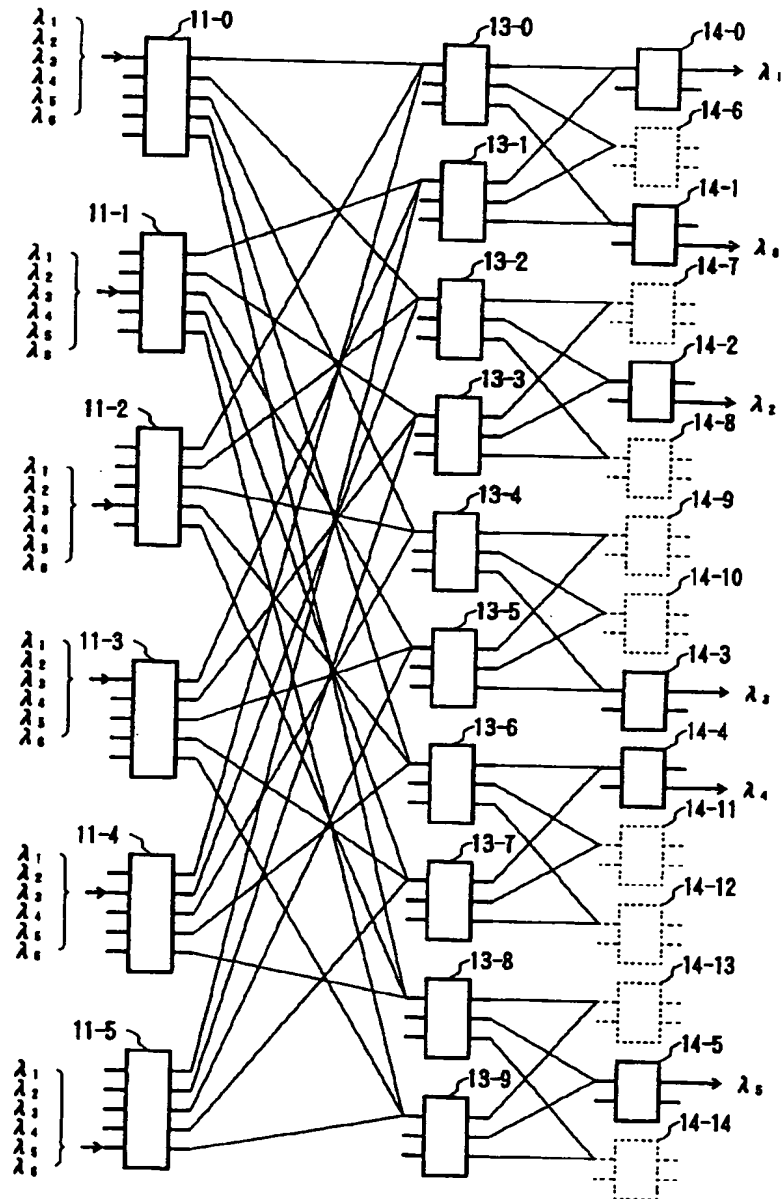


【図9】

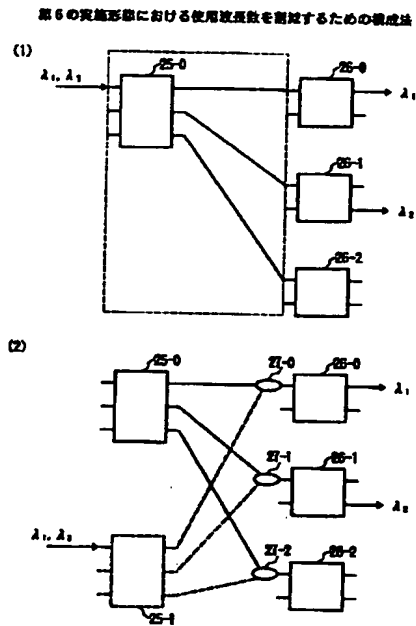


【図10】

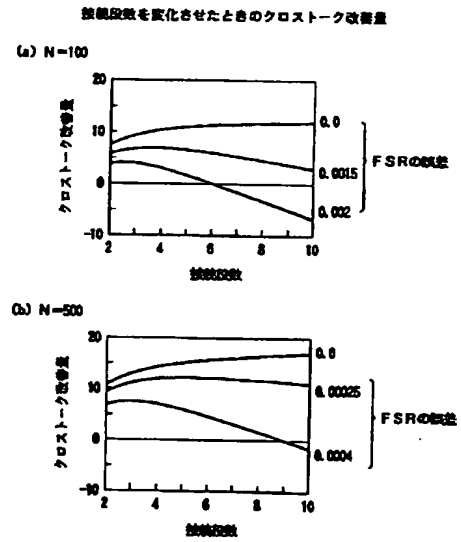
本発明の第6の実施形態



【図11】

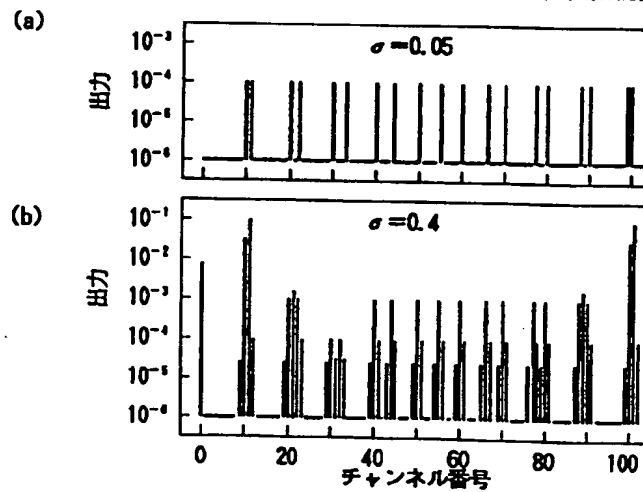


【図15】

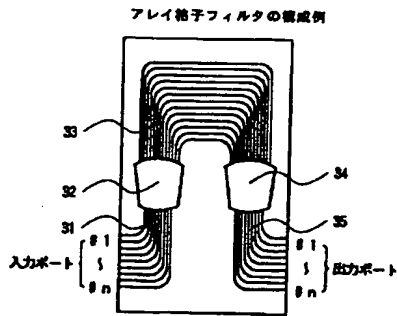


【図13】

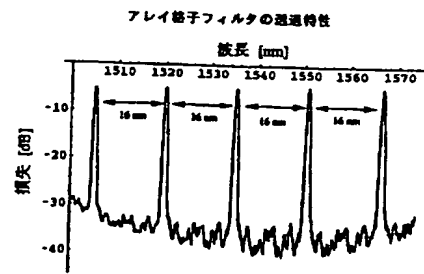
アレイ格子フィルタに製作誤差がある場合の多段接続後の出力



【図16】



【図17】



【図18】

多段接続したマッハツェンダ合分波器の構成およびその合分波動作

